



Aalborg Universitet

AALBORG UNIVERSITY
DENMARK

Manual Triaxialapparat

Thorsen, Grete; Jacobsen, H. Moust.

Publication date:
1992

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link to publication from Aalborg University](#)

Citation for published version (APA):
Thorsen, G., & Jacobsen, H. M. (red.) (1992). *Manual Triaxialapparat*. Laboratoriet for Fundering, Aalborg universitet.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

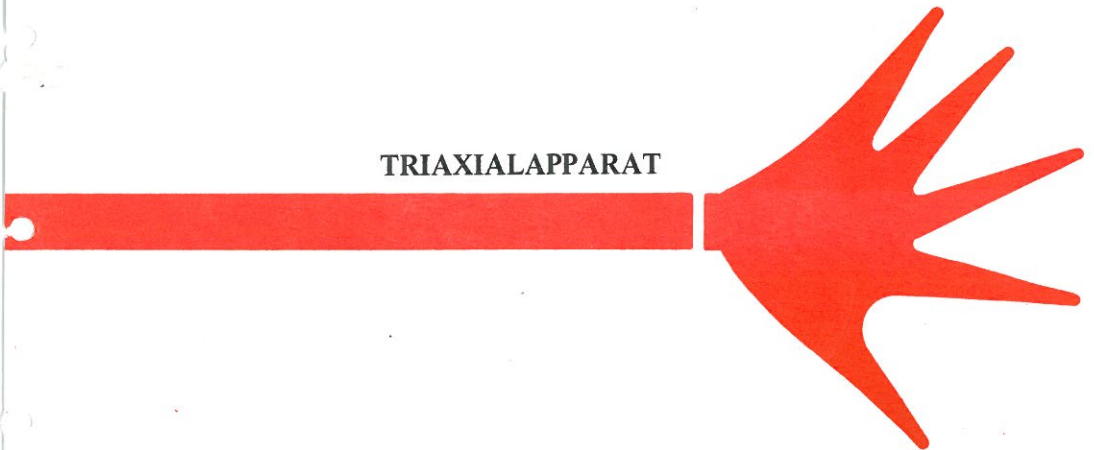
- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal -

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at vbn@aub.aau.dk providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

MANUAL

TRIAXIALAPPARAT



Dette triaxialapparat er udviklet med henblik på at opnå så nøjagtige målinger som muligt, samtidig med at det er gjort så sikkert som muligt over for fejlbetjening, således at de kun ved ekstrem mishandling eller uheld kan ødelægges.

Måleprincippet er at måle alt så tæt på prøven som muligt. Derfor er deformationsmåleure og kraftmålesystemet anbragt inden i cellen. Cellens øverste del er fyldt med olie for at undgå at måleurene og kraftrammerne rustner. Ellers er alt i rustfrit materiale.

Cellens nederste del er fyldt med vand, da gummimembranen angribes af olie.

INDHOLDSFORTEGNELSE

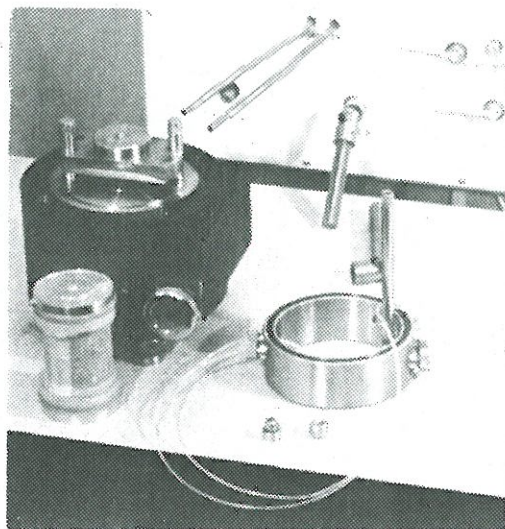
BUNDEN	4
TRYKHOVEDER	5
KRAFTMALERE	6
DEFORMATIONSMÅLING	7
TOPPLADEN	8
CELLEN	9
BEHOLDERE	10
MANØVREPULT	11
MANOMETRE	12
Kalibrering af manometre	13
VENTILTAVLE	14
VACUUMSYSTEM	15
MANOSTAT (BISHOPTYPEN)	15
SKRUEKONTROL	16
MEMBRANER	16
FILTRE	16
SLANGER	16
SANDFORM	18
LERFORM	20
TILDANNELSE AF LERPRØVE	22
Tildannelse	22
Montering af trykhoveder	24
Observation I	24
Montering af tildannet prøve	24

TILDANNELSE AF SANDPRØVE	26
Montering af trykhoveder	26
Placering af nedre trykhoved	26
Placering af membran	26
Montering af sandform	27
Udlejring af sand	28
Morænesand. Finsand	28
Afretning af overflade	29
Observation I	30
Færdiggørelse af sandprøve	30
SAMLING AF CELLEN	32
Observation II a)	32
Observation II b)	32
VANDMÆTNING AF PRØVER	34
Vandmætning af lerprøve	34
Vandmætning af sandprøve	35
Vandmætning af målesystem	35
TOTAL VANDMÆTNING	36

BUNDEN

Figur 1: Det sorte bundstykke med en prøve foran.

Bundring med slanger og olierør. Kugle og kugleskal.



Triaxialapparatets bund består af

et sort bundstykke, der indeholder den presse, der frembringer trykket på prøven. Pressen drives med et teleskopled, der fører til et af to snækkegear på motorskabet. Pressen må ikke skilles ad.

tre justerskruer under bundstykket, hvormed det kan stilles vandret.

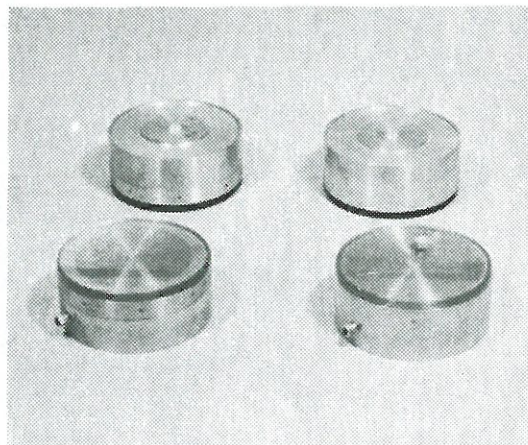
en trykplade med venstregevind fastholdt af to styrestænger. Prøven monteres på trykpladen, der er forsynet med en skrue med glat hoved for trykforsøg. Ved trækforsøg udskiftes den skrue med en skrue, hvor der også er gevind på skruehovedet.

en stårling med gennemføringer til slanger, eventuelle andre anordninger og rør for olie og vand. Rørene forbindes med ventiltavlen. Stårlingen er løs for at lette rengøringen af bunden.

et olierør, der kan skrues ned i den opadvendte fatning.

TRYKHOVEDER

*Figur 2: Trykhoveder til
ler (til venstre).
Trykhoveder til
sand (til højre).*



Forsøget udføres med »glatte« trykhoveder for at opnå ensartede spændingsforhold i prøven (se Lærebog i Geoteknik, side 8.11).

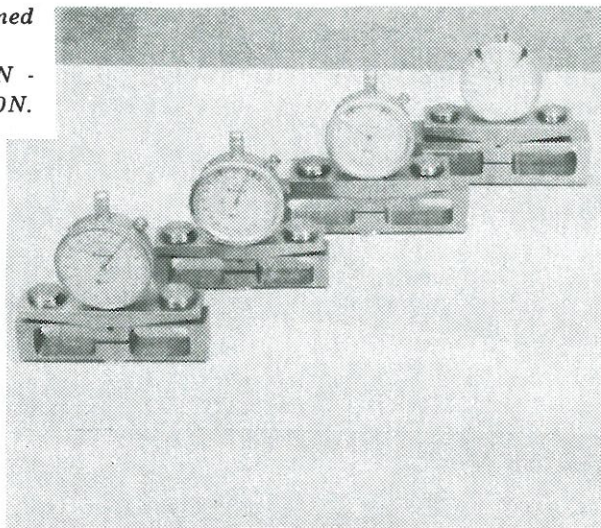
Trykhovedet er belagt med en glasplade, hvorpå der smøres et tyndt lag siliconfedt, og en glideflade bestående af en tynd gummihinde rulles herpå. Man opnår herved, at gummihinden flyder på siliconfedtet, hvorved friktion undgås. Udføres et forsøg med sand, kan sandkornene dog skære gennem membranen og overføre forskydningskræfter til trykhovedet. Forsøg med sand kræver derfor flere gummimembraner oven på hinanden. Der anvendes normalt 3-4 membraner pr. trykhoved.

Ved forsøg med sandprøver anvendes trykhoveder med en lille filtersten i midten; ved forsøg med lerprøver anvendes omgangsfiltre, der tilsluttes på siden af trykhovederne. Der er afsat plads til 8 filtre, men der anvendes normalt kun 4.

KRAFTMÅLERE

Figur 3: Krafframmer med måleområder.

500N - 2000N -
8000N - 20000N.



Målesystemet består af et antal krafframmer, der kan udskiftes ved at løsne to omløbere. Krafframmen består af eet stykke metal, hvori måleuret er fastgjort. Herved opnås, at kalibreringen er fast, selvom måleren får kraftige stødpåvirkninger. Måleren er sikret mod overbelastning, fordi slidsen i midten lukker før brud i metallet. Måler og måleur bør betragtes som en enhed, og kalibrering foretages efter hver gang, man har skiftet måleur. Krafframmens no er fire- eller femcifret. De første tre eller fire cifre angiver max kraft, sidste ciffer er fabriktionsnummer. Fx angiver no 180-5, at maksimal belastning er 180 kp. Maksimal kraft svarer til maksimal visning af måleur.

Under krafframmen er monteret en anslagsplade, der er 20 mm i diameter. Ved trækforsøg udskiftes den med en speciel anordning (se side 13). Det må før brugen sikres, at måleuret fungerer og at det kan give det nødvendige udslag. Ved trækforsøg skal måleuret således sidde anderledes end normalt. Måleurene fungerer bedst, hvis krafframmen opbevares i olie.

Kraftramme no	Måleområde N	Kalibreringsfaktor N/mm	Kalibreret d.	Måleurs- type

DEFORMATIONSÅLING

Deformationsmålingen finder sted inde i cellen for at måle så præcist som muligt. Ved meget nøjagtige målinger må det nederste trykholdende støbes fast til bundstykkets trykplade med et tyndt gipslag.

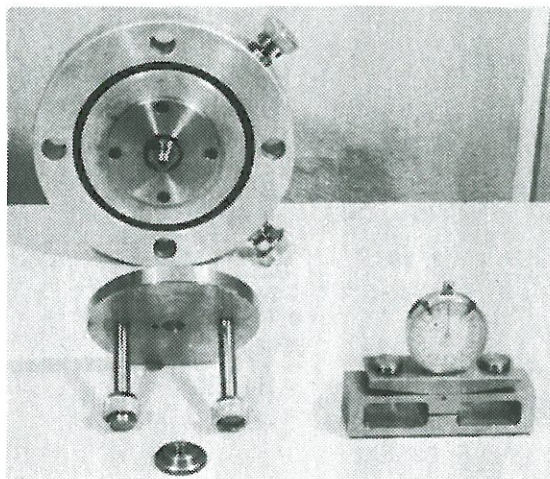
Der anvendes to måleure, der placeres diametralt modsat, således at gennemsnitsmålingen angiver prøvens middelsammentrykning.

I trykpladen monteres måleurstængerne med måleurholderne. Måleurene vælges efter arten af forsøg. Ved brudforsøg anvendes normalt måleure med 30 mm vandring og mindste inddeling 0,01 mm. Ved specielle deformationsforsøg kan anvendes måleure med 1-2 mm vandring og mindste inddeling på 0,001 mm.

Ved automatisk registrering anvendes transducere.

TOPPLADEN

Figur 4: Topplade set nedfra med centre-ringsskruer på siden. Kraftrammeplade løsnet. Fingermøtrik nederst i billedet. Kraft-ramme.



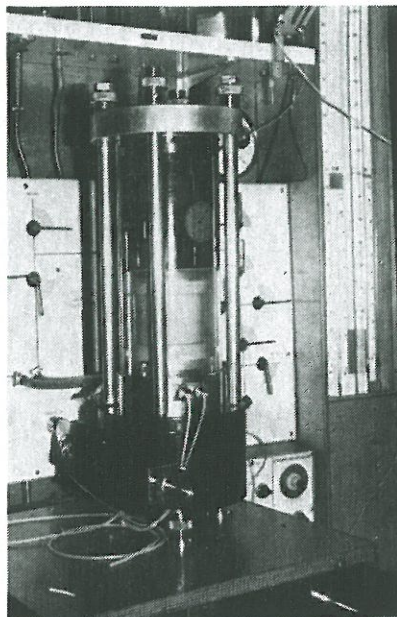
Toppladen er på oversiden forsynet med en udluftningsventil, der skal stå åben, når cellen fyldes eller tømmes.

På undersiden er fastgjort en plade med to ben, hvortil en kraft-ramme kan fæstnes ved at spænde de to omløbere. En fingermøtrik, der holder pladen fastspændt til toppladen, kan løsnes, således at kraftrammen kan drejes, hvorved den kan gå fri af de to deformationsmåleure.

På siden findes to fingerskruer, hvormed centerlinien i kraftrammen kan bringes ind i prøvens centerlinie. Det sker først umiddelbart før kraftrammen træder i funktion. Indstillingen lettes af at kraft-rammens anslagsplade har samme diameter som kugleskålene. Indstilling kan altså blive meget præcis.

CELLEN

Figur 5: Triaxialcellen samlet.



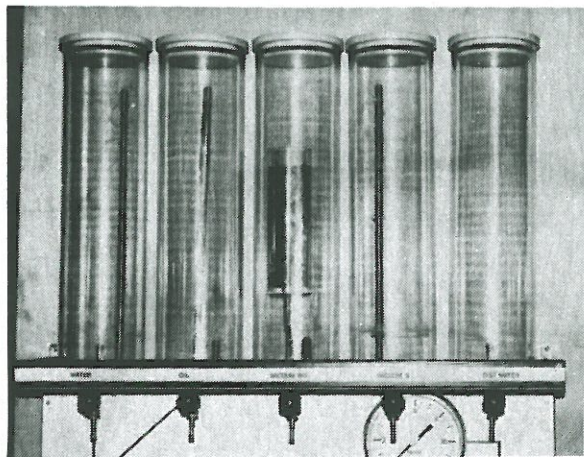
Cellen består foruden af bunden og toppladen af en plexiglas cylinder og 4 bolte, hvormed cellen kan sammenspændes. Cellen er beregnet til at kunne tage et kammertryk på 1200 kN/m^2 gennem længere tid. Pressen i bunden kan let klare at trykke med de 20 kN, som er den maksimale kraft, der kan registreres med kraftmålesystemet.

Pressen kan hæve trykpladen op over føringerne, således at den samlede vandring kan blive over 30% af prøvens begyndelseshøjde. Glemmer man at slukke for motoren, vil prøven blive snoet, og membranen springe. Såfremt man glemmer at slukke, medens trykpladen er for nedadgående, skulle venstregevindet betyde, at trykpladen går løs uden at ødelægge pressen.

Ved samling af cellen monteres på øverste trykhoved et kugleled bestående af en over- og en underskål og en stålkugle. For at fæstne kuglen til kugleskålene under montage kan anvendes siliconefedt.

Før samling må man huske at anbringe olierøret.

BEHOLDERE

Figur 6: Beholdere.

Over ventiltavlen er placeret 5 beholdere, der består af et plexiglasrør med topstykke og bundstykke. Bundstykket sidder fast på ventiltavlen. Såfremt beholderne skal renses, frigøres de fra bundstykket. Beholderne er ens pånær beholderen for destilleret vand. Den er forsynet med hul i topstykket for påfyldning af vand. Beholderne kan tømmes ved hjælp af ventilerne med runde håndtag i bundpladen.

Beholderne for olie og vand (no 1 og 2) fyldes også gennem disse ventiler, idet der anvendes undertryk. Under fyldning af cellen, må udluftningsventilen på ventiltavlen være åben.

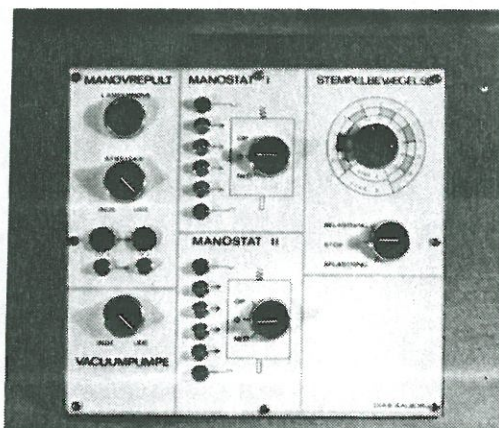
Beholder no 3 indeholder vacuumflaske, vandfælde og silikagelfilter for vacuumsystemet. Silikagelen er blå, når den er tør. Bliver den våd, antager den rød kulør, og må da straks skiftes (af hensyn til vacuum-pumpen). Silikagelen kan tørres i varmeskab og genanvendes. Såfremt der kommer vand i beholder no 3, må det straks lukkes ud gennem bundventilen.

Beholder no 4 er også en vacuumflaske. Trykket måles på vacuummanometer. Den benyttes til at fastholde et vacuum i prøven under montage.

Beholder no 5 indeholder destilleret vand, der pumpes ud i systemet med skruekontrollen.

MANØVREPULT

Figur 7: Manøvrepulten
set forfra.



Alle elektriske systemer kan betjenes fra manøvrepulten, der står løst på bordet og derfor kan placeres, hvor det skønnes hensigtsmæssigt. Manøvrepulten tilsluttes i øverste venstre hjørne, hvor to lamper indicerer at såvel 24 volt som 220 volt systemet er i orden. I samme felt findes en lampekontrol, der får alle lamper til at lyse, hvis den aktiveres. Pærerne kan udskiftes ved at skrue på hættten. Sikringen til systemet findes bag skruelåget på siden og udskiftes let.

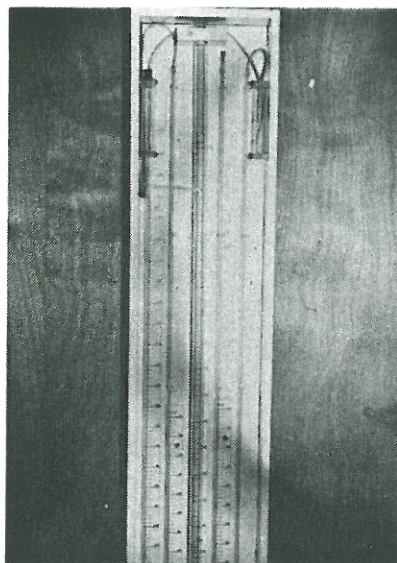
I venstre side findes også kontakt for vacuumpumpe.

I højre side tilsluttes den motor, der frembringer stempeltrykket. Motoren er reversibel og trinløs regulerbar inden for et stort område. Skalaerne, der referer til gearerne, angiver stempelbevægelsen.

I midten er kontrolpanelet for manostaterne placeret. Hæves eller sænkes øvre manostatbeholder ud over det tilladelige, standser motoren automatisk og en lampe indicerer, om det er i top- eller bundstilling. Man behøver da blot at ændre motorens omdrejningsretning for at udløse stoppet. Niveauet af kviksløvoverfladen i den øvre beholder angives af de fire lamper i midten, idet man må forestille sig, at væsken skygger for lamperne. Der bør aldrig være lys i den nederste og altid i den øverste. Systemet har 24 volts spænding og giver derfor ikke anledning til risiko. Motorerne er dog 220 volt.

MANOMETRE

Figur 8: Øverste del af manometerskab.



Manometrene er bortset fra et viserinstrument samlet i et manometerskab. Manometerskabet indeholder 2 kviksølvmanometre og et vandmanometer. Af hensyn til risikoen for at spilde kviksølv i laboratoriet er skabet helt lukket, og den nedre del tætnet i alle samlinger. Der er ligeledes sikring mod overløb af kviksølv. Alle skalaer kan justeres ved at løsne to skruer. Manometrene benyttes på følgende måde:

1. Vandmanometer.

Måler kammertrykket i intervallet 0 - 8 kN/m²

Plexiglasrør med en diameter på 2,5 cm.

Rørdiametren er valgt så stor, at manometret kan benyttes til manostat ved små tryk.

2. Kviksølvmanometer til 200 kN/m².

Måler kammertrykket i intervallet 10 - 200 kN/m² (skala 1) og i intervallet 0 - 100 kN/m² (skala 2).

3. Almindeligt manometer.
Måler kammertrykket i intervallet 100 - 1200 kN/m².
Manometret har flydende nulpunkt for at undgå nulpunktsforskydning ved hurtigt tilbageløb, samt justerbar skala, således at nøje overensstemmelse med de øvrige manometre kan opnås.
4. Kviksølvmanometer fra 0 til -100 kN/m².
Måler undertrykket i vacuumbeholderen.

Kalibrering af manometre

Man begynder med at nulstille vandmanometret. Der fyldes vand i cellen, indtil vandoverfladen står ud for prøvens midte. Vandmanometret skal da forskydes, indtil det står på nul. Man må være opmærksom på, at reaktionstiden for manometret er lang, og at luftbobler internt i systemet påvirker målingen. Ved at fylde og tømme vandmanometret med skruekontrollen fjernes luftboblerne.

Herefter indstilles kviksølvmanometret, således at overensstemmelse med vandmanometret opnås inden for måleområdet. Det er væsentligt, at kviksølvstrengen er samlet, og at der ikke er luft i systemet. Hvis kviksølvstrengen er brudt, kan den samles ved at slå forsigtigt på glasrøret og ændre trykket. Det er dog temmelig besværligt.

Det er meget vigtigt, at der ikke er luftbobler i slangen, der forbinder kviksølvmanometret med ventiltavlen. Der er derfor indskudt en boblefælde på slangen, og luften fjernes da ved at skrue skruekontrollen ud og ind.

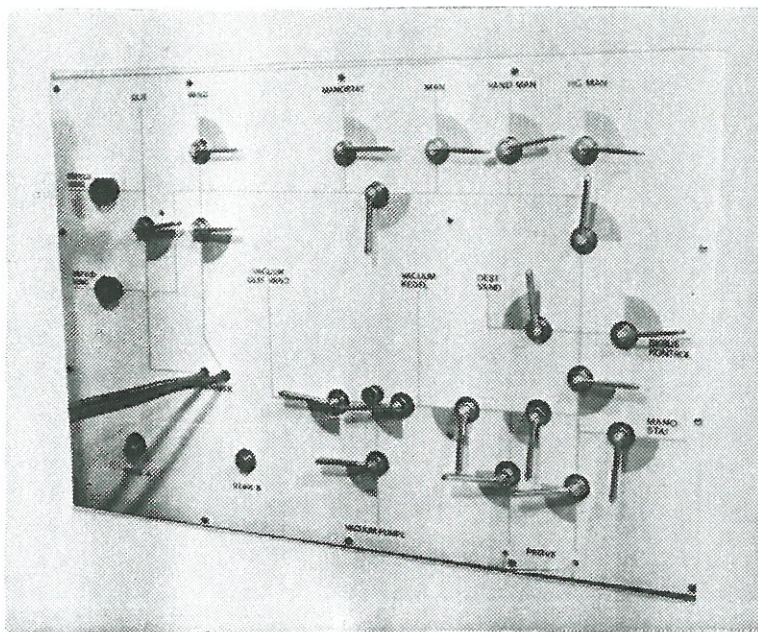
Visermanometret indstilles med en justerskrue efter at låget er skruet af.

Vacuummanometret nulstilles ved at åbne til vacuumkedlen. Skalaen er lidt forskellig fra de øvrige skalaer, fordi der ikke er vand over nogen af kviksølvoverfladerne.

Ved automatisk registrering anvendes en anden fremgangsmåde.

VENTILTAVLE

Figur 9: Ventiltavle.



På ventiltavlen er samlet alle de ventiler, der skal bruges til forsøgene.

Ventilerne kan efterspændes ved at stramme møtrikken, der er synlig bag håndgrebet. Såfremt pakningen skal skiftes, må møtrikken løsnes, og håndtaget lirkes forsigtigt ud. Det kan være nødvendigt at anvende en skruetrækker.

Håndtaget bevæges inden for det afmærkede område for at undgå, at ventilerne blokerer hinanden. På tavlen er iøvrigt afmærket tre forskellige systemer: *Oliesystemet*, der er helt separat, *tryksystemet*, hvori det er meningen at der altid skal være vand, er afprøvet ved 1200 kN/m^2 og *vacuumsystemet*.

Den ventil, der adskiller vacuumsystem og tryksystem, skal helst holdes lukket.

VACUUMSYSTEM

Vacuumpumpen er en elektrisk induktionspumpe (Reciprotor), der kan frembringe et undertryk på $60-70 \text{ kN/m}^2$. Det er dog en forudsætning, at motoren ikke bliver fugtig. Den er derfor tilsluttet et silicagelfilter der skifter farve, hvis det bliver fugtigt. I tør tilstand er det blå, i fugtigt rødt. Filtermaterialet kan udtørres i varmeskab og genanvendes. Mellem filteret og triaxialapparatet er indskudt en vandfælde (beholder no 3) for at undgå, at filtret fyldes med vand ved et uheld.

Vacuumsystemet er iøvrigt forsynet med en udluftningsventil anbragt på ventiltavlen. Herved sikres, at flere apparater kan tilsluttes samme vacuumpumpe og alligevel fungere uafhængigt af hinanden.

MANOSTAT (BISHOPTYPEN)

Manostaten kan frembringe og fastholde kammertrykket inden for grænser, der afhænger af manostatens størrelse. AUC's manostat frembringer tryk op til 550 kN/m^2 .

Trykket skyldes en højdeforskel i kviksølvflader i forbundne kar. Nedre beholder sidder i bunden af et rør, medens den øvre kan hejses op og ned med en elektromotor. Den øvre beholder hænger i en fjeder, der er således justeret, at trykket ikke afhænger af mængden af kviksølv i øvre beholder.

Manostatrøret er uigennemsigtigt, hvorfor der er udført en elektrisk markering af kviksølvniveauet i øvre beholder. Herved opnås også at manostaten kan placeres i et andet rum.

SKRUEKONTROL

Skruekontrollen er en pumpe, hvis stempelbevægelse frembringes af en spindel, der drejes med plexiglashåndtaget. Skruerkontrollen er ikke tæt over for undertryk og stemplet bør derfor ikke drejes så hurtigt ud, at luft suges ind i systemet. Ved manøvre fyldes den altid med destilleret vand fra beholderen.

Skruekontrollen anvendes hovedsageligt til at regulere kammertrykket, men har derudover en række servicefunktioner. Tilgangen til ventiltavlen er derfor meget centralt placeret.

MEMBRANER

Membranerne, der adskiller prøvens indre fra kammervandet er fremstillet af latex og er 0,1 - 0,2 mm tykke. De kan tåle en meget stor relativ forlængelse uden at brydes. Dog kan negle eller skarpkantede sandkorn skære hul i dem og de må da lappes ved at påstryge flydende latex. Såfremt meget nøjagtige målinger skal foretages, kan man støbe membraner i den rigtige form.

Membranen tilklippes i en længde på 12 cm.

FILTRE

Filtrene er fremstillet af et geotekstil (fx fibertex). De er ca. 5 mm brede og 110 mm lange. Filtrene må være så lidt sammentrykkelige som muligt, da det giver anledning til fejlvurdering af volumenmålingen og en faldende permeabilitet ved voksende kammertryk. Der benyttes normalt 4 filtre pr. lerprøve.

SLANGER

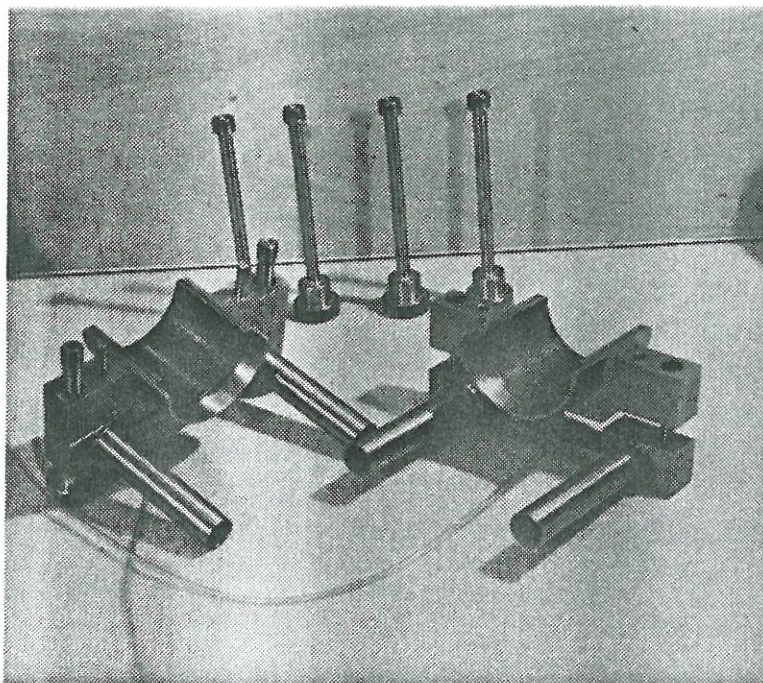
Slangerne, der fører fra trykhovederne til en volumenmåler, skal være meget stive, fordi en sammentrykning registreres som en volumenændring. De er derfor af nylon med en ydre diameter på 3 mm og en lysning på 1,5 mm.

Det må så vidt muligt undgås at sammenkoble slanger. Samlinger kan blive utætte.

Figur 10:

SANDFORM

Figur 11: Sandformen adskilt med bolte til fastgørelse i baggrunden.



Triaxialforsøg på sand foretages normalt ikke med intaktprøver, da det dels er vanskeligt at optage intaktprøver, dels næsten umuligt at tildanne en prøve, uden at denne beskadiges eller ødelægges, da kapillariteten er så ringe. Man foretrækker i stedet at udføre forsøgene på prøver, der er fremstillet i laboratoriet, hvad man også kan tillade sig, da sandets egenskaber væsentligst stammer fra kontakttryk mellem kornene uden elektriske eller kemiske bindinger.

Sandet tørres først og udlejres herefter i en sandform. Udlejningsmetoderne udformes med henblik på at frembringe et poretal, der ligner in situ poretalet.

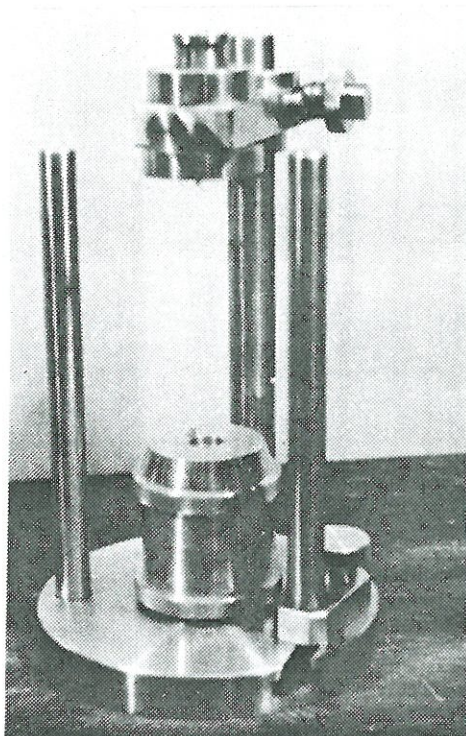
Sandformen består af et rør, hvis indre diameter er lig med sandprøvens diameter + 2 gange membrantykkelsen. Dette rør består inderst af porøs bronze, yderst af rustfrit stål. Da trykhovedet er større end prøvediameteren, må røret kunne skilles i to halvparter, når sandformen afmonteres. Adskillelsen skal foregå yderst kontrolleret for at undgå ødelæggelse af sandprøven. Derfor er røret ophængt i en plan, der understøttes af fire ben, der med bolte kan fastgøres til triaxialcellens bund. Når formen skal adskilles, må de to håndskruer drejes, hvorved de to dele af formen glider fra hinanden. Da bevægelsen styres af stifter, vil den stoppe, hvis de to håndskruer ikke bevæges ens. Man skal derfor ikke lægge kræfterne i for at tvinge bevægelse frem, men i stedet dreje lidt baglæns, indtil skruerne igen går frit. Med lidt øvelse er dette ikke noget problem.

Når røret ikke kan bevæges længere ud til siden, går skruerne ud af indgreb, og formen består derefter af to selvstændige dele, der kan fjernes hver for sig ved at løsne boltene i bundpladen.

På fotografiet ses de dele, hvori apparatet kan adskilles.

LERFORM

Figur 12: Lerform, monteret for tildannelse af 7x7° cm prøver.



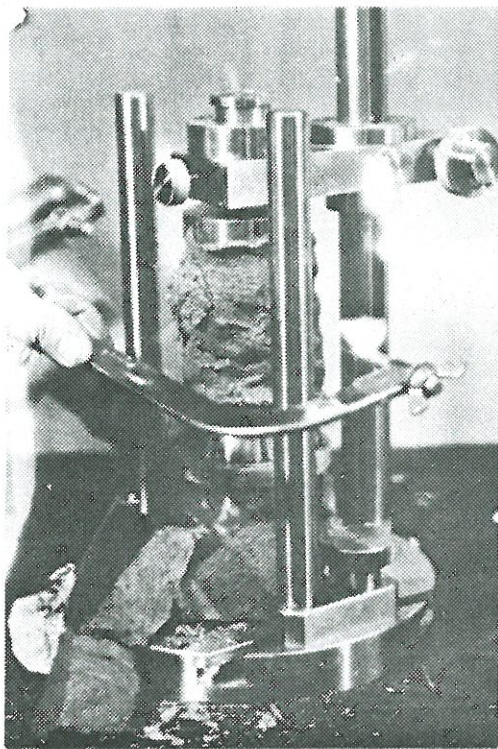
Dette apparat er beregnet til tildannelse af kohæsivt materiale til cylindriske jordprøver med en diameter på 7 cm og en højde på 7 cm. Det er dog muligt at tildanne prøver med større højde i apparatet, og der er endvidere skærehoveder for 10 cm² jordprøver (D = 3,57 cm).

Til en 7 x 7° cm prøve bør anvendes en jordprøve på mindst 10 x 10° cm.

Apparatet består nederst af en plade, hvortil er fastgjort en sokkel samt tre stænger. På soklen, der kan roteres med hånden, er monteret det nedre skærehovede, hvorpå prøven sættes. Den ene af stængerne bærer det øvre skærehoved. De to andre stænger, hvoraf den ene er justerbar, udgør føring for skæreværktøjet.

TILDANNELSE AF LERPRØVE

Figur 13: Tildannelse af prøve med stål-streng.

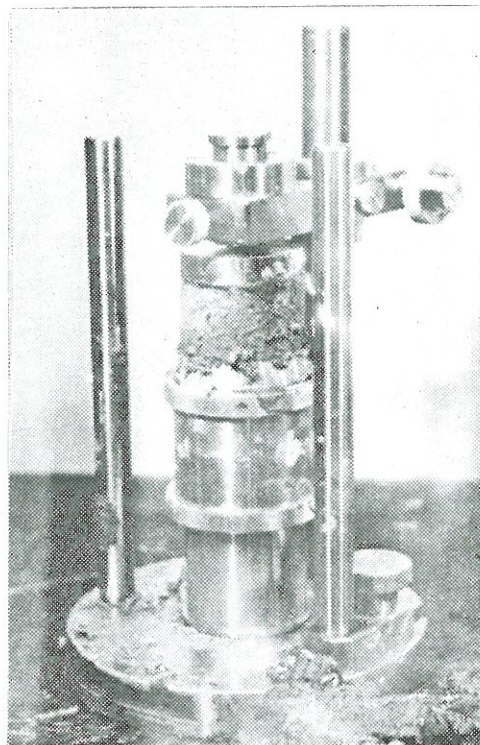


I. Tildannelse

Efter at prøven er anbragt på nedre skærehoved, bringes øvre skærehoved i stilling lige over prøven ved at spænde skruen til grovindstilling. Herefter løsnes finindstillingsskruen, og piggene presses ned i prøvens øvre ende.

Bløde lerprøver tildannes bedst med en udspændt stålstreng, der kan monteres på en nedstryger. En kniv vil ikke kunne anvendes, fordi leret vil hænge fast på knivens sider. Prøven tildannes næsten til den rigtige diameter, idet stålstrengen glider på føringssøjlerne, og soklen roterer. Herefter løsnes en skrue på soklen, hvorved en skærring frigøres, og man kan nu skyde den op om jordprøven. Når den synlige del af prøven er ca. 1 cm lang,

*Figur 14: Brug af skæring.
ring.*



overskæres prøven foroven langs ringens øvre rand, og skærehovedet løftes. Skæreringen løsnes og presses med prøvens afrettede ende ned over en rondel, til skæret når bordet. Herefter overskæres prøves og det sidste skærehoved løsnes. Prøven transporteres i ringen hen til trykhovedet og presses ud herpå ved hjælp af rondellen.

Nederste skærehoved og rondel renses omhyggeligt; ligeledes renses skæreringen og presses med stor forsigtighed ned over soklen og spændes fast til denne. Soklen kan løftes direkte for rengøring. Da pasningen er meget fin, går den trægt. Herudover er det ikke meningen, at apparatet skal skilles yderligere.

II. *Montering af trykhoveder*

Trykhovederne til lerprøver er helt glatte på oversiden. De forsynes med en glideflade af gummi. Den fremstilles af almindelige gummimembraner med en diameter på 72 mm. (Brug papskabelon)

Trykhovederne smøres over med et tyndt lag siliconefedt og glidefladen placeres centralt på trykhovedet. Luft fjernes ved at rulle en cylinder (fx olierøret) over glidefladen med let hånd.

III. *Observation I*

Prøven vejes, dens højde og diameter måles og noteres i skema.

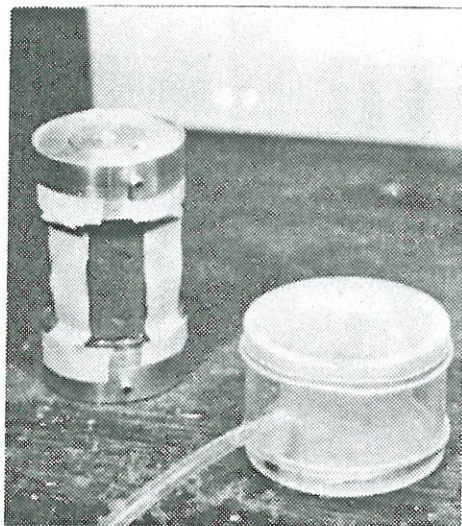
IV. *Montering af tildannet prøve*

Efter at prøven er placeret på trykhovedet, der er monteret med glideflader, påsættes omfangsfiltrene, der bukkes og klæbes fast på trykhovederne på ringen med hullerne i. Membranen fastgøres i monteringsrøret med gummibånd og suges ud til væggen, hvorefter røret føres ned over prøven, og undertrykket mellem monteringsrør og membran fjernes, hvorved prøven indesluttet i membranen. Gummibåndene sættes nu på trykhovederne, og prøven placeres i cellens bund.

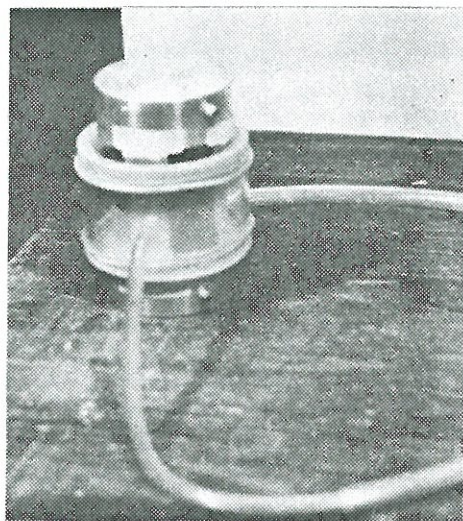
Slangerne, der på forhånd er bøjede 90° ca. 2 cm fra spidsen og med en længde på mindst 70 cm, placeres i trykhovederne med et let tryk. Slangernes endelige placering ses på side 30, og de skal naturligvis placeres på en sådan måde, at det er muligt at skille sandformen, uden at prøven forstyrres.

Prøven tilsluttes en boblefælde som vist på fig. 20, og boblefælden tilsluttes »prøve vacuum«. Herefter opbygges et vacuum, der ikke må være større end prøvens middelforbelastningstryk, da prøvens volumenændring ellers bliver betydelig. Man må på forhånd have gjort sig klart, hvor stort et undertryk, der kan tillades.

Figur 15: Prøve monteret med filtre. Monteringsrør med gummimembran og gummibånd.



Figur 16: Undervejs i processen.



Såfremt der er utætheder vil boblerne vedblivende vise sig i boblefælden. Hvis der er utætheder, må omløbene spændes, eller membranen pensles med gummiopløsning og tørres. Herefter kan cellen samles.

TILDANNELSE AF SANDPRØVE

I. *Montering af trykhoveder*

Der fremstilles af almindelige gummimembraner 6 stk. glideflader, der er 72 mm i diameter og med et 10 mm centralt placeret hul. (Brug huggepipe og papskabeloner.)

Trykhovedet smøres over med et tyndt lag siliconefedt og en glideflade placeres centralt på trykhovedet. Luft fjernes ved at rulle en cylinder (fx olierøret) over glidefladen med let hånd. Herefter smøres et tyndt lag siliconefedt over glidefladen, og en ny glideflade placeres på samme måde. Endnu een placeres således, at der ialt er 3 på trykhovedet. Alle tre glideflader skal naturligvis være placeret centralt.

Det andet trykhoved underkastes samme behandling.

Det er vigtigt at spare på siliconefedtet for at undgå tilstopning af filtre.

Endelig placeres en filtersten i trykhovedet. Den dækkes af en prop af fugtigt sand.

II. *Placering af nedre trykhoved*

Trykhovedet placeres på bundstykket. Det skal være sænket så langt, at trykhovedets underside flugter med overside af bundringen.

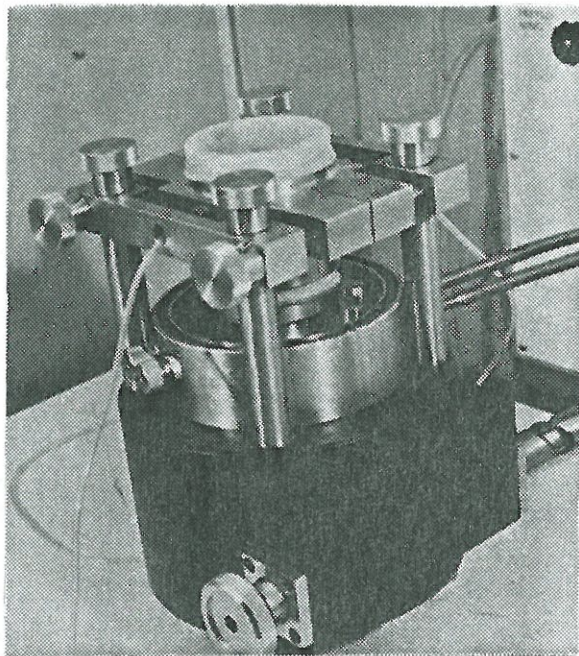
Såfremt *trækforsøg* udføres, skal trykhovedet fastskrues til bundstykket med en speciel skrue.

Påse at indføringen til trykhovedet går fri af urholdere og olierør.

III. *Placering af membran*

Gummimembranen monteres forsigtigt på nedre trykhoved og fastgøres med to gummibånd, der placeres ved siden af hinanden. Det er vigtigt, at glidefladen ikke krøller og at den når ud under membranen hele vejen.

Figur 17: Umiddelbart før udlejring af prøve.



IV. Montering af sandform

Sandformens to halvparter samles. De lodrette flader der skal slutte tæt mod hinanden smøres med siliconefedt. Den porøse bronze skal ikke fedtes ind. Den er meget vanskelig at rense bag-efter. Herefter spændes de to dele sammen ved samtidig at skrue på to fingerskruer.

Obs! Der må ikke anvendes vold. Hvis skruerne sætter sig fast, må de løsnes lidt igen for yderligere tilspænding.

Formen anbringes forsigtigt på plads, men sættes ikke fast. De to halvcirkelformede afstandsstykker anbringes og tapes sammen. Membranen gøres fast med et gummibånd og suges på plads. Såfremt formen er korrekt anbragt, vil glidefladerne i bunden og membranen udgøre en tæt enhed. Er trykhovedet for højt oppe, krøller glidefladen, er den for langt nede er der mellemrum i hjørnerne. Det må undgås, fordi der ikke må komme sandkorn på trykhovedet uden for glidefladen, der da ikke kan glide.

Udlejring af sand

Først renses sandet omhyggeligt, for at undgå at urenheder kan stoppe udlejringen. Prøvens volumen bliver ca. 280 cm^3 og vægten af den nødvendige sandmængde vil - afhængig af poretal og kornvægtfylde - ligge mellem 400 og 500 g. Der afvejes en rigelig mængde sand, fx 600 g.

Udlejringsmetoden afhænger meget af kornstørrelser og gradering. Her skal blot nævnes to eksempler.

Velsorteret strandsand med $d_{50} \sim 0,2 \text{ mm}$ (Løkkensand).

Sandet udlejret ved et frit fald på mindst 40 cm for at sikre en homogen sandprøve. Afstanden opnås ved at indskyde et system af plexiglasrør mellem sandform og sandspreder. Røret skal stå fuldstændig lodret. Det opnås ved at stille på bundstykkets stilleskruer.

Sandsprederen består af to sigter. Den øverste er en 2 mm sigte, hvorpå er placeret en hulplade, der regulerer sandgennemstrømningen. Den nederste er en 1 mm sigte, der spreder sandstrømmen. Den er forsynet med en blænde. Lejringstætheden er afhængig af hulpladen. Der kan vælges mellem

hulplade no 1	$e = 0,62$	$I_D = 1$
no 2	$e = 0,70$	$I_D = 0,70$
no 3	$e = 0,80$	$I_D = 0,30$

1 mm sigten anvendes ikke ved den løseste lejring.

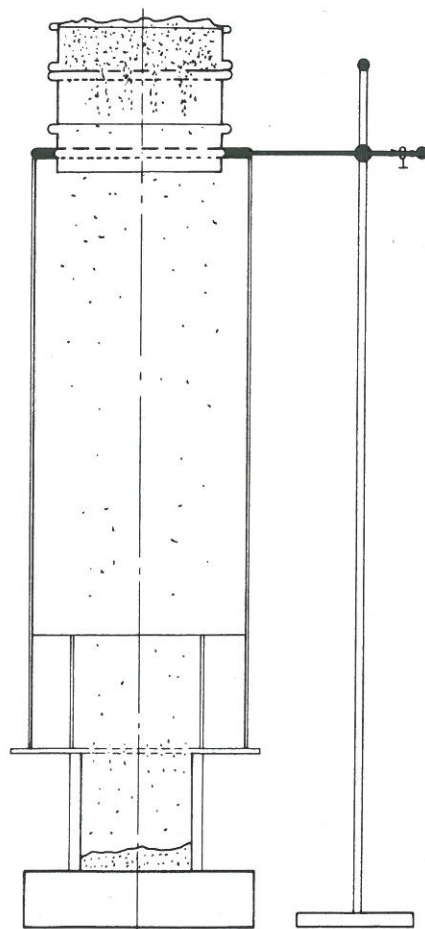
Sandet hældes i den øverste sigte og falder herefter ned i sandformen. Det er vigtigt, at hulpladens huller er fuldtløbende under hele processen. Ved afslutning kan sandoverfladen blive vandret ved optimal udlejningsprocedure.

Morænesand. Finsand.

Denne sand indeholder en stor mængde silt, der ved ovennævnte procedure viser sig som fint støv i lokalet.

Den udlejres derfor bedst med tragt eller ske, idet det påses at sandet bliver jævnt fordelt over prøvearealet ($e \approx 0,90$).

*Figur 18: Sandudlejring
ved dryssemeto-
den.*



Såfremt prøven bliver for løs, kan den komprimeres noget ved forsigtige slag (med knoerne) på sandformen. (100 slag $e \approx 0,65$)

Hvis overflødigt sand er suget op i støvsugeren, må det smides væk bagefter.

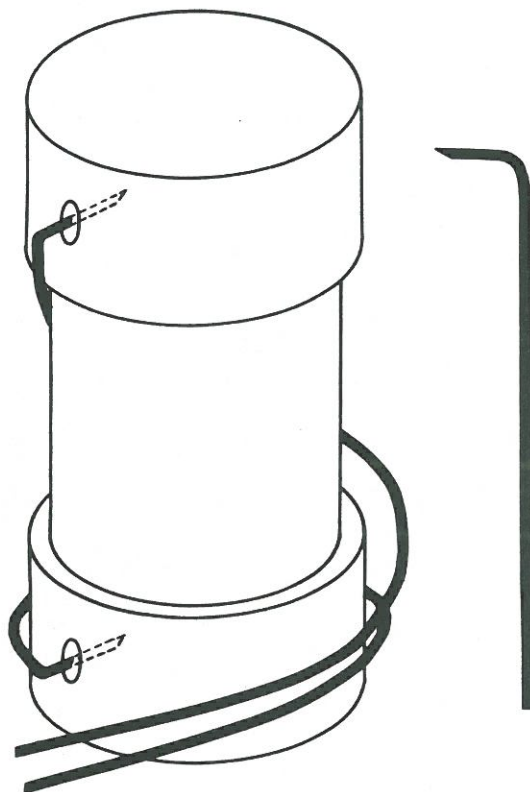
Afretning af overflade

Sandoverfladen afrettes først ved at suge med porealsudstyret på den underste plexiglasring. Herefter afrettes med lineal under videre opsugning. Til sidst fjernes sandkorn fra membrankanten.

Observation I

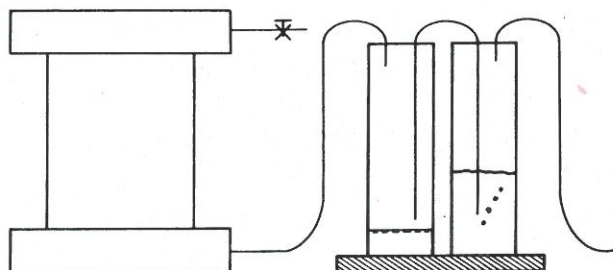
Prøvens vægt bestemmes ved at veje det tiloversblevne sand og trække vægten fra den oprindelige sandmængde. Resultatet opskrives i skema (se side 7). Da der altid mistes noget sand under udlejring, bliver denne vægt for stor. Ved omhyggelig procedure er fejlen under 2 gram.

Figur 19: Slangerne skal før brug bøjes i vinkel (ved varme) og skæres skråt af. Ved montage skal slangerne rundt om prøven.

*Færdiggørelse af sandprøve*

Øverste trykhoved placeres forsigtigt på sandoverfladen. Påse, at slangestuts vender rigtigt i forhold til måleursholdere og olierør. Fastholderarmen med eet gummibånd omkring monteres med løs tap, der

Figur 20: Prøve tilsluttet
boblefælde.



sænkes ned i hullet på trykhovedet og tilspændes. Også armen tilspændes. Gummibåndet på membranen kan nu føres op til gummibåndet på armen, og membranen trækkes op om trykhovedet. Overkan af membran skal sidde så lavt som muligt for at undgå at få olie på den senere. Den kan eventuelt lægges dobbelt. Herefter placeres de to gummibånd uden på membranen, den ene uden på den anden.

Slangerne, der på forhånd er bøjede 90° ca. 2 cm fra spidsen og med en længde på mindst 70 cm, placeres på trykhovederne med et let tryk. Slangernes endelige placering ses på side 30, og de skal naturligvis placeres på en sådan måde, at det er muligt at skille sandformen, uden at prøven forstyrres.

Prøven tilsluttes en boblefælde som vist på figuren, og boblefælden tilsluttes »prøve vacuum«. Herefter opbygges et vacuum, der ikke må være større end prøvens middelforbelastningstryk, da prøvens volumenændring ellers bliver betydelig. Man må på forhånd have gjort sig klart, hvor stort et undertryk, der kan tillades.

Såfremt der er utætheder vil boblerne vedblivende vise sig i boblefælden. Er utætheden lille, kan sandformen skilles ad og fjernes. Først fjernes de halvcirkelformede mellemlagsstykker og dernæst må begge fingerskruer aktiveres samtidig og med forsigtighed. Evt. må drejes kontra på den ene. Fastholderarmen løsnes først efter at sandformen er skilt ad, da det er vigtigt, at trykhovedet ikke flyttes.

Herefter kan cellen samles.

SAMLING AF CELLEN

Sand- eller lerprøven står nu på bundstykket med slangerne forbundet til en boblefælde.

Olierøret monteres først.

Måleurene sættes i holderne. Urholderstængerne skrues i. Måleurene placeres diametralt modsat, og med skala vendt ud mod celle-væggen. Der skal være plads til kraftrammen.

Det kontrolleres at

- a) der er valgt de korrekte måleure,
- b) bagpladen er fjernet,
- c) de løber let, uden at sidde fast noget steds,
- d) nulstillingen er hensigtsmæssig. Ved trykforsøg skal urene være i bundstilling. Ved trækforsøg i topstilling. Ved cykliske forsøg midt i.

Observation II a)

Måleurenes nulpunkter opnoteres i skema.

Kugleskål og kugle monteres. En dråbe latex kan forhindre øverste skål i at dratte ned. Dråben opløses senere af olien.

Prøven køres ned.

Den rette kraftramme vælges og skrues på. Det kontrolleres, at

måleuret sidder fast

måleuret giver udslag

kraftrammen sidder rigtigt for deformationsurene. Kraft-rammen kan drejes ved at løsne centralskruen.

Observation II b)

Kraftrammens nulpunkt og nummer opnoteres i skema.

Plexiglasrøret sættes på. Toppladen lægges forsigtig på. De fire bolte sættes fast i. Derefter spændes de diagonalt så hårdt man kan med håndkraft.

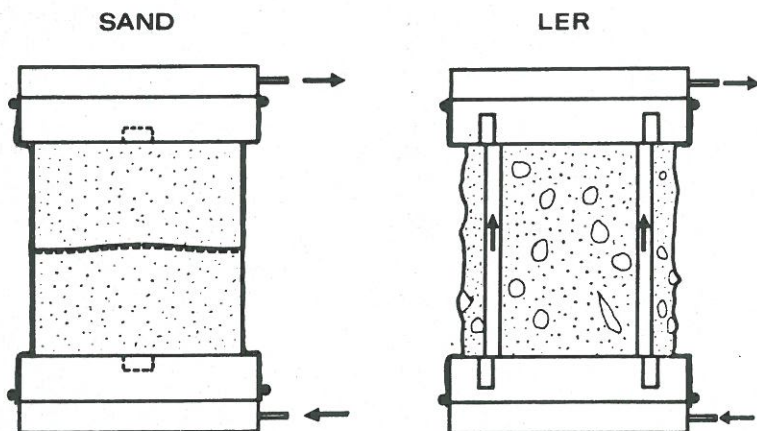
Ventilskruen i toppladen og i ventiltavlen åbnes. Endvidere åbnes ventil til »Vacuum - olie og vand«. Dernæst sættes vand på. Når vandoverfladen når toppen af olierøret, lukkes for vandet. Olien tilsættes meget langsomt for at undgå emulgering. Når olien løber ud af ventilskruen på toppladen, lukkes ventilen på tavlen. Til sidst lukkes ventilskruen i toppladen.

Herefter aftørres apparatet for vand og olie. Såfremt man senere opdager en olie- eller vandplet, skal man være sikker på, at noget er utæt.

Nu kan det forud valgte kammertryk påføres. Er kammertrykkets størrelse kritisk (ved normalkonsoliderede jordarter), må man sætte kammertrykket i vejret samtidig med at vandtrykket på prøven fjernes. De effektive spændinger kan med behændighed holdes uændrede.

VANDMÆTNING AF PRØVER

Figur 21: Vandmætning af prøver.



Umiddelbart før vandmætning af prøve aflæses måleurene (Observation III). Efter vandmætning aflæses måleurene igen (Observation IV). Observation IV og II a skal helst være næsten ens. Det fortæller, at procedurerne har været gode.

Vandmætning af lerprøve

Overskriften er misvisende. Selv om en lerprøve ikke er vandmættet ved tildannelsen, skal man ikke søge at presse vand igennem prøven, fordi man ødelægger de elektroniske bindinger mellem kornene og muligvis fjerner nogle af de kemiske forbindelser, der giver leret dets egenskaber.

Derimod må man sørge for, at der er fuld kontakt mellem porevandet og vandet i det ydre målesystem, og undgå luftbobler i filter-systemet.

Derfor er filtersystemet bygget op således at gennemskylningen kan foregå uden om prøven.

Såfremt der er opstået undertryk i porevandet ved prøveoptagningen, vil det udlignes under vandmætningen. For at undgå, at prøven udvider sig herved, kan kammertrykket forøges, således at deformationsmåleurene netop ikke bevæger sig.

Vandmætning af sandprøve

Vandmætning af sandprøve kan foregå i kammeret, efter at et mindre kammertryk har tilføjet prøven effektive spændinger, eller allereede inden sandformen adskilles, fordi den da holder sammen på sandprøven. Den sidste udvej anvendes ved forsøg med normalkonsolideret sand ved lave kammertryk.

Som det fremgår af figuren, sker vandmætningen ved at lede destilleret vand til nedre trykhoved og lade luften undslippe gennem øvre trykhoved. Efter nogen tids forløb vil vandet løbe ud gennem øvre slange, men vil dog fortsat rive luft med ud. Man bør derfor lede mindst dobbelt så meget vand ind i prøven, som der medgår til vandmætningen. I øvrigt må man være opmærksom på, at trykforholdene i systemet ændres under vandmætningen.

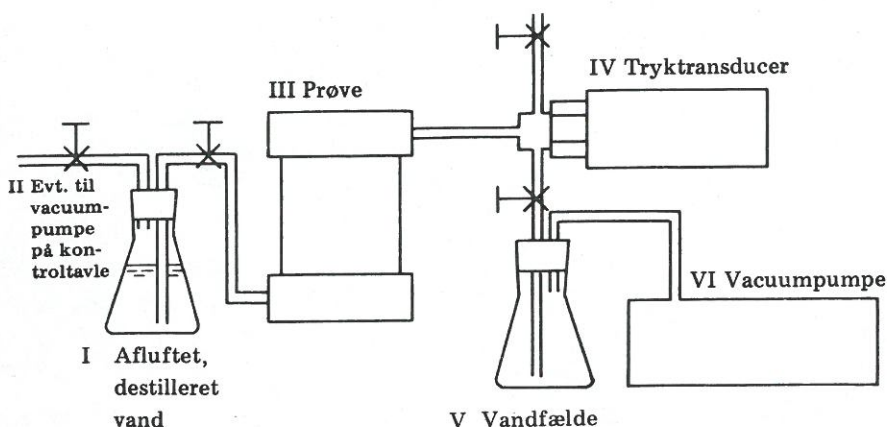
Der anvendes to kolber og nogle slanger. Der fyldes 400 g vand i den ene kolbe og hele systemet vejes (Observation III a). Efter vandmætning vejes systemet igen (Observation IV a). Mætningsgraden kan nu kontrolleres. Ved omhyggelig »vandmætning« kan man opnå, at $S > 0,9$. For at opnå en høj værdi af S bør vandmætningen foregå langsomt (fx på en time).

Vandmætning af målesystem

Før forsøget er det meget vigtigt at undersøge om hele målesystemet er vandmættet. For at undgå luftbobler kan følgende procedure anvendes: Skruekontrollen tømmes og fyldes med destilleret vand. Derefter sættes prøvetryk på Hg-man og senere vandmanometeret, hvorved luft kan opfanges i luftfælden eller boble op gennem vandmanometeret. Tilsidst skrues vand fra skruekontrollen op i kammerets vandbeholder og skruekontrollen fyldes igen med destilleret vand.

TOTAL VANDMÆTNING

Figur 22: Opstilling til
væskemætning.
Principdiagram.



Ved cykliske forsøg og andre udrænede forsøg, hvor poretrykket i prøven måles direkte, er selv små mængder luft i stand til at ændre målingen radikalt.

Man kan forsøge total vandmætning ved følgende procedure.

Prøvens nedre trykhoved tilsluttes en beholder, der er fyldt med 500 ml destilleret vand, der er »udkogt« i mindst 10 minutter under vacuum. Beholderen kan eventuelt udpumpes til 70-80% vacuum for at nedsætte fornyet luftoptagelse.

Øvre trykhoved tilsluttes en vandfælde og en evt. tryktransducer anbringes med det samme. Vandfælden tilsluttes en vacuumpumpe (fx Speedivac 2), som kan frembringe undertryk, der er større end svarende til vandets damptryk.

Samtlige samlinger gås efter med latex.

Først pumpes luften ud af prøven i ca. 15 minutter. Herved påføres prøven vel store effektive spændinger. Herefter åbnes en kort tid for vandtilstrømning til nederste trykhoved, således at der kommer ca. 3 ml vand i prøven. Vacuum-pumpen fortsætter i ca. 0,5 time. Vanddampe kan da rive yderligere luft ud af prøven.

Dernæst løsnes klemskrue B forsigtigt, således at prøven vandmættes langsomt. Efter at der er suget 50-100 ml vand gennem prøven afbrydes forbindelsen til vacuum-pumpe og prøven henstår yderligere en halv time før trykforholdene i prøven er stabile.

Herefter fortsættes på normal vis.

